

PENENTUAN NILAI CBR DENGAN VARIASI GRADASI BATAS BAWAH TERHADAP BATAS TENGAH PADA LAPIS PONDASI AGREGAT KELAS A

Ahmad Norhadi⁽¹⁾, Surat⁽¹⁾, Ilhami⁽¹⁾

⁽¹⁾ Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Banjarmasin

Ringkasan

Lapis Pondasi Agregat mempunyai peranan yang sangat penting pada perkerasan jalan. Salah satu tipe material perkerasan jalan adalah Lapis Pondasi Agregat Kelas A yang mempunyai persyaratan spesifikasi yang harus dipenuhi sebelum penghamparan atau pemadatan di lapangan, sebelum dilakukan penghamparan di lapangan material harus diuji Laboratorium untuk memenuhi persyaratan Lapis Pondasi Agregat Kelas A tersebut.

Penentuan nilai berat volume kering maksimum (γ_d maks.) dan kadar air optimum ($w_{opt.}$) dilakukan pengujian pemadatan di Laboratorium berdasarkan SNI 1743 : 2008 dan selanjutnya untuk mendapatkan nilai CBR dilakukan pengujian CBR Laboratorium berdasarkan SNI 1744 : 2012

Berdasarkan hasil penelitian didapatkan nilai CBR design untuk gradasi Batas Bawah sebesar 100 %, kepadatan kering maksimum sebesar 2,135 g/cm³ dan kadar air optimum 6,5 %, nilai CBR design gradasi Batas Tengah 110 %, kepadatan kering maksimum 2,160 g/cm³ kadar air optimum 7,0%. Lapis Pondasi Agregat Kelas A dengan gradasi Batas Tengah didapat nilai CBR lebih besar dibandingkan gradasi Batas Bawah

Kata kunci: Gradasi, California Bearing Ratio (CBR), dan Agregat Kelas A

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Lapis Pondasi merupakan bagian dari perkerasan jalan yang letaknya tepat di bawah lapis permukaan yang menerima sebagian besar distribusi beban akibat kendaraan ke tanah dasar, oleh karena itu material yang digunakan harus berkualitas lebih tinggi sebagaimana diatur dalam spesifikasi umum edisi tahun 2010. Bahan Lapis Pondasi Atas Agregat Kelas A menggunakan batu gunung yang dipecah dengan alat pemecah batu (*stone crusher*). Sebelum pelaksanaan konstruksi Lapis Pondasi Agregat Kelas A, harus dilakukan pengujian material di laboratorium terlebih dahulu dan juga harus memenuhi persyaratan yang ditentukan.

Material Lapis Pondasi Agregat kelas A harus memiliki mutu tinggi yang bebas dari bahan organik dan gumpalan lempung serta bahan lainnya yang tidak diinginkan. Pemeriksaan nilai abrasi dari agregat kasar menggunakan mesin *Los Angeles* maksimal 40 %. Indeks Plastisitas (PI) maksimal 6 %. Serta pengujian CBR (*California Bearing Ratio*) minimal 90 %.

Syarat untuk memenuhi spesifikasi gradasi Lapis Pondasi Agregat Kelas A harus memiliki komposisi yang tepat antara agregat

kasar dan agregat halus. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga didapatkan gradasi Lapis Pondasi Agregat Kelas A dan kemudian ditetapkan bahwa komposisi persen berat lolos yang tertinggi adalah Gradasi Batas Atas dan yang terendah adalah Gradasi Batas Tengah, sedangkan komposisi persen berat lolos diantara Gradasi Batas Atas dan Batas Bawah adalah Gradasi Batas Tengah. Komposisi agregat yang sering direncanakan dalam pengujian di laboratorium masih menggunakan komposisi berdasarkan syarat Spesifikasi Umum Bina Marga, tetapi komposisi tersebut belum menggambarkan komposisi yang ideal pada masing – masing batas gradasi. Pada Pengujian di laboratorium kali ini untuk mengetahui batasan antara gradasi Batas Bawah terhadap gradasi Batas Tengah.

Rumusan Masalah

1. Berapakah nilai berat volume kering maksimum dan kadar air optimum gradasi Batas Bawah dan Batas Tengah Lapis Pondasi Agregat Kelas A
2. Berapakah nilai CBR dari gradasi Batas Bawah dan Batas Tengah Lapis Pondasi Agregat Kelas A
3. Berapakah nilai CBR yang paling besar diantara gradasi Batas Bawah dan Batas Bawah Lapis Pondasi Agregat Kelas A

Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pengujian laboratorium, yaitu
 - a. Berat jenis dan penyerapan agregat halus
 - b. Berat jenis dan penyerapan agregat kasar
 - c. Batas cair dan batas plastis
 - d. Keausan agregat dengan mesin Abrasi Los Angeles
 - e. Analisa saringan
 - f. Pemadatan (*Compaction*)
 - g. Pengujian CBR laboratorium
2. Spesifikasi gradasi Lapis Pondasi Atas Agregat Kelas A batas bawah dan batas tengah.
3. Material batu pecah quarry Pelaihari.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Spesifikasi Umum

Terdapat tiga kelas yang berbeda dari Lapis Pondasi Agregat yaitu Kelas A, Kelas B dan Kelas S. Pada umumnya Lapis Pondasi Agregat Kelas A adalah mutu Lapis Pondasi Atas untuk lapisan di bawah lapisan beraspal, dan Lapis Pondasi Agregat Kelas B adalah untuk Lapis Pondasi Bawah. Lapis Pondasi Agregat Kelas S akan digunakan untuk bahu

jalan tanpa penutup aspal. Pada tugas akhir ini menggunakan Spesifikasi Agregat Kelas A untuk Lapis Pondasi Atas, (Spesifikasi Umum 2010 Bina Marga)

Bahan Lapis Pondasi Agregat

Bahan lapis pondasi agregat terdiri dari fraksi agregat kasar dan agregat halus adalah sebagai berikut:

1. Fraksi Agregat Kasar

Agregat kasar yang tertahan pada ayakan 4,75 mm harus terdiri dari partikel atau pecahan batu atau kerikil yang keras dan awet. Bahan yang pecah bila berulang-ulang dibasahi dan dikeringkan tidak boleh digunakan.

2. Fraksi Agregat Halus

Agregat halus yang lolos ayakan 4,75 mm harus terdiri dari partikel pasir alami atau batu pecah halus dan partikel halus lainnya. Fraksi bahan yang lolos ayakan No.200 tidak boleh melampaui dua per tiga fraksi bahan yang lolos ayakan No.40.

Gradasi Lapis Pondasi Agregat

Seluruh Lapis Pondasi Agregat harus bebas dari bahan organik dan gumpalan lempung atau bahan-bahan lain yang tidak dikehendaki dan harus memenuhi ketentuan gradasi (menggunakan pengayakan secara basah) yang diberikan dalam Tabel 2.1.

Tabel 1. Gradasi Lapis Pondasi Agregat

Ukuran Ayakan		Persen Berat Yang Lolos		
ASTM	(mm)	Kelas A	Kelas B	Kelas S
2"	50		100	100
1 1/2"	37,5	100	88 - 95	100
1"	25,0	79 – 85	70 - 85	89 - 100
3/8"	9,50	44 – 58	30 - 65	55 - 90
No.4	4,75	29 – 44	25 - 55	40 - 75
No.10	2,0	17 – 30	15 - 40	26 - 59
No.40	0,425	7 – 17	8 - 20	12 - 33
No.200	0,075	2 – 8	2 - 8	4 - 22

(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2010)

Tabel 2. Gradasi Lapis Pondasi Agregat Kelas A

Ukuran Saringan	Batas Bawah	Batas Atas	Nilai Tengah
	% Lolos	% Lolos	% Lolos
2"	100	100	100
1,5	100	100	100
1"	79	85	82
3/8"	44	58	51
No.4	29	44	36,5
No.10	17	30	23,5
No.40	7	17	12
No.200	2	8	5

(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2010)

Tabel 3. Sifat-sifat Lapis Pondasi Agregat

Sifat – sifat	Kelas A	Kelas B	Kelas S
Abrasi dari Agregat Kasar (SNI 2417:2008)	0 - 40 %	0 - 40 %	0 - 40 %
Indek Plastisitas (SNI 1966:2008)	0 - 6	0 - 10	4 – 15
Hasil kali Indek Plastisitas dengan Persen Lolos Ayakan No.200	maks. 25	-	-
Batas Cair (SNI 1967:2008)	0 - 25	0 - 35	0 – 35
Bagian Yang Lunak (SNI 03-4141-1996)	0 - 5 %	0 - 5 %	0 - 5 %
CBR (SNI 1744 : 2012)	min.90 %	min.60 %	min.50 %

(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2010)

Berdasarkan tabel (1) ditentukan bahwa komposisi persen berat lolos yang tertinggi adalah gradasi batas atas dan komposisi persen berat lolos yang terendah adalah gradasi batas bawah. Komposisi persen berat lolos yang berada di tengah-tengah gradasi batas atas dan batas bawah adalah gradasi batas tengah.

Pada penelitian dipilih gradasi batas bawah dan batas tengah adalah nilai tengah dari batas Gradasi Lapis Pondasi Agregat Kelas A seperti tabel (2).

Sifat-sifat Bahan

Sifat bahan untuk lapis pondasi agregat harus memenuhi sifat-sifat yang diberikan dalam tabel (3).

Berdasarkan tabel (2) syarat dari Lapis Pondasi Agregat Kelas A yaitu harus memiliki nilai Abrasi maksimal 40%, nilai Indeks Plastisitas maksimal 6, nilai Hasil kali Indeks Plastisitas dengan persen lolos saringan No. 200 maksimal 25, nilai Batas Cair maksimal 25, dan nilai CBR Laboratorium minimal 90 %.

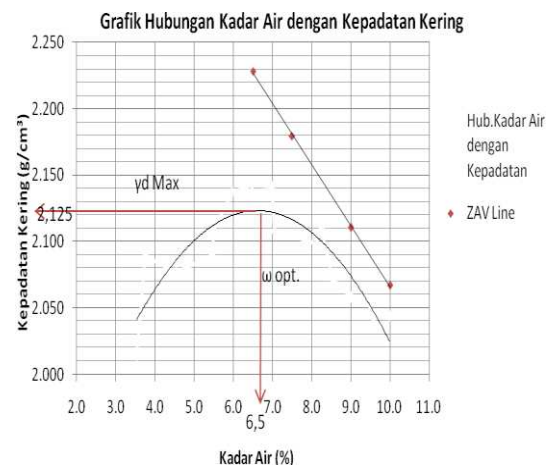
Pemadatan

Pemadatan mekanik adalah usaha merunggi volume pori pada lapis pondasi agregat serta terjadi saling mengunci antar butiran agregat. Rongga diantara butir agregat yang ukuran lebih besar akan diisi butir yang lebih halus dan pada proses pemadatan akan mengunci sehingga daya dukung menjadi lebih besar. Kepadatan lapis pondasi agregat dinyatakan berat volume kering.

Hubungan Kadar Air dan Kepadatan

Tingkat pemadatan lapis pondasi agregat diukur dari berat volume kering. Bila kadar air ditambahkan kepada suatu lapis pondasi agregat yang sedang dipadatkan, air tersebut akan berfungsi sebagai unsur pembasah pada butiran agregat untuk memudahkan pengisian rongga diantara butiran agregat. Untuk usaha pemadatan yang sama, berat volume kering akan naik bila kadar air dalam agregat meningkat sehingga akan didapat berat isi

kering tertinggi disebut kepadatan maksimum dan kadar optimum. Kadar air di mana harga berat volume kering maksimum dicapai disebut kadar air optimum. Hubungan kadar air dengan kepadatan kering seperti Gb (1)



Gambar 1 Grafik Hubungan Kadar Air dengan Kepadatan

Grafik hubungan kadar air dengan kepadatan kering harus di berada di bawah garis kepatan maksimum tanpa ruang pori (zero air void, ZAV). Pengujian percobaan pemadatan di laboratorium dengan kepadatan berat (modified proctor) berdasarkan SNI 1743:2008.

Perhitungan pada percobaan pemadatan digunakan rumus sebagai berikut :

1. Kepadatan Basah (Berat Volume Basah)

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

Di manay adalah berat volume basah (g/cm³), W adalah berat tanah yang dipadatkan di dalam cetakan (gram), V adalah volume cetakan (cm³).

2. Kadar Air

$$\omega = \frac{(w_1 - w_2)}{(w_2 - w_0)} \times 100\%$$

Dimana ω adalah kadar air (%), w_1 adalah berat tanah basah dan cawan (g), w_2 adalah berat tanah kering oven dan cawan (g), w_0 adalah berat cawan (g).

3. Kepadatan Kering (Berat Volume Kering)

$$\gamma_d = \frac{(\gamma \times 100)}{(100 - \omega)}$$

Di mana γ_d adalah kepadatan kering (g/cm^3), γ adalah kepadatan basah (g/cm^3), ω adalah kadar air (%).

Metode Pemadatan

Dengan berkembangnya alat-alat penggilas berat yang digunakan pada pemadatan di lapangan, uji proctor standar harus dimodifikasi untuk dapat lebih mewakili kondisi lapangan. Uji proctor yang

dimodifikasi (*Modified Proctor*) berdasarkan SNI 1743:2008. Untuk pelaksanaan uji proctor dimodifikasi ini, dipakai cetakan yang sama dengan volume 944 cm^3 sebagaimana pada uji proctor standar. Tetapi tanah dipadatkan dalam lima lapisan dengan menggunakan penumbuk seberat 10 lb (4,54 kg). Tinggi jatuh penumbuk adalah 18 inch. Jumlah tumbukan per lapisan adalah tetap yaitu 25 sebagaimana pada Proctor standar.

Pada spesifikasi yang diberikan untuk uji Proctor menurut ASTM dan AASHTO dengan volume cetakan sebesar 944 cm^3 dan jumlah tumbukan 25 kali per lapisan pada umumnya dipakai untuk tanah-tanah berbutir halus yang lolos ayakan Amerika No.4. Sebenarnya, pada masing-masing ukuran cetakan masih ada empat metode lain yang disarankan, yang berbeda-beda menurut ukuran cetakan, jumlah tumbukan per lapisan, dan ukuran partikel tanah maksimum pada agregat tanah yang dipadatkan. Ringkasan dari metode uji tersebut dapat dilihat pada tabel (4). Pada pengujian kali ini yang menggunakan agregat memakai pemadatan Metode D.

Tabel 4 Daftar Metode Pemadatan

Penjelasan	Metode A	Metode B	Metode C	Metode D
Diameter cetakan (mm)	101,6	152,4	101,6	152,4
Tinggi cetakan (mm)	116,33	116,33	116,33	116,33
Volume cetakan (cm^3)	943,9	2124,3	943,9	2124,3
Massa penumbuk (kg)	4,54	4,54	4,54	4,54
Tinggi jatuh penumbuk (mm)	457,2	457,2	457,2	457,2
Jumlah lapis	5	5	5	5
Jumlah tumbukan per lapis	25	56	25	56
Bahan lolos saringan	No.4 (4,75 mm)	No. 4 (4,75 mm)	19,00 mm (3/4")	19,00 mm (3/4")

(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2010)

Tabel 5 Nilai Tekanan atau Beban dan Penetrasi pada Material Standar Batu Pecah

Penetrasi		Tekanan Standar, p		Beban Standar, P	
In.	mm	Psi	kPa	lb	kN
0,1	2,5	1000	6890	3000	13,345
0,2	5,0	1500	10340	4500	20,017
0,3	7,5	1900	13100	5700	25,355
0,4	10,0	2300	15860	6900	30,693
0,5	12,5	2600	17930	7800	34,696

(Sumber: ASTM D-1883)

Pengujian CBR (*California Bearing Ratio*)

Pengujian CBR dilakukan untuk mengukur daya dukung material dengan memberikan beban vertikal dengan penetrasi tertentu dan membandingkannya dengan nilai beban standar yang dinyatakan dengan persen. Beban atau tekanan standar dan penetrasi seperti Tabel 2.5, (ASTM D-1883). Nilai CBR biasanya diambil pada penetrasi 0,1 inch (2,54 mm) atau 0,2 inch (5,08 mm). Pengujian CBR di laboratorium dilakukan pada benda uji pada kondisi terendam selama 4 x 24 jam pada suhu ruang. Pembacaan

beban dan penetrasi piston digambarkan dalam suatu grafik yang melewati titik-titik pembacaan tersebut. Bentuk kurva pada tahap-tahap penetrasi awal pada umumnya lurus dan pada penetrasi yang lebih dalam kurva cenderung melengkung seperti Gambar 2.2.

Dalam mengevaluasi uji CBR, nilai CBR pada penetrasi 0,1" biasanya digunakan dalam perancangan. Hal ini karena nilai CBR pada penetrasi tersebut, umumnya lebih besar dari pada CBR penetrasi 0,2", sehingga CBR umumnya berkurang bila penetrasi

bertambah. Jika nilai CBR pada penetrasi 0,2" lebih besar, maka pengujian diulang. Namun, bila pada penetrasi 0,2" tersebut tetap diperoleh nilai CBR lebih besar, maka nilai CBR inilah yang dipakai pada perancangan.

Hasil uji CBR ditunjukkan pada gambar 2.2. Kurva garis berwarna merah merupakan nilai standar batu pecah. Kurva 1 hubungan penetrasi dengan beban maka tidak perlu koreksi. Kurva 2 hubungan penetrasi dengan beban maka perlu koreksi. Titik nol pada kurva yang dikoreksi adalah perpotongan garis singgung kurva yang dikoreksi dengan sumbu horizontal.

Untuk menghitung nilai CBR dalam persen adalah tekanan atau beban dibagi dengan tekanan atau beban pada standar

batu pecah dikalikan 100, dengan persamaan sebagai berikut:

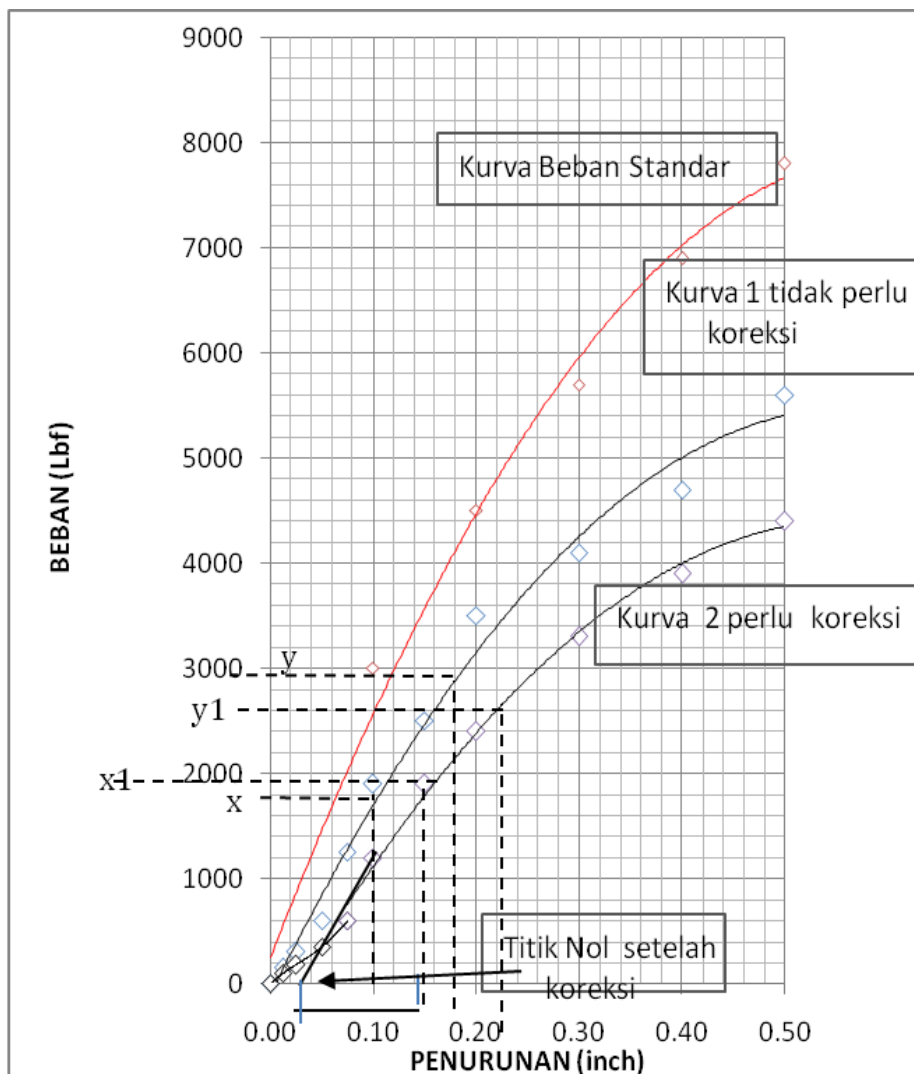
a) Nilai CBR pada penetrasi 0,1" :

$$CBR (0,1") = P / (3 \times 1000) \times 100$$

b) Nilai CBR pada penetrasi 0,2" :

$$CBR (0,2") = P / (3 \times 1500) \times 100$$

Di mana $CBR (0,1")$ adalah nilai CBR pada penetrasi 0,1" (%), $CBR (0,2")$ adalah nilai CBR pada penetrasi 0,2" (%), P adalah beban pada piston pada penetrasi 0,1" atau 0,2" (lb).



Gambar 2. Grafik

3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

Tujuan

1. Mengetahui nilai berat volume kering maksimum dan kadar air optimum gradasi Batas Bawah dan Batas Tengah Lapis Pondasi Agregat Kelas A.
2. Mengetahui nilai CBR dari gradasi Batas Bawah dan Batas Tengah Lapis Pondasi Agregat Kelas A.
3. Mengetahui nilai CBR yang paling besar antara gradasi Batas Bawah dan Batas Tengah pada Lapis Pondasi Agregat Kelas A.

Manfaat

1. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan kepada Pembina Jalan dan semua pihak yang terkait dengan pelaksanaan perkerasan jalan terutama material untuk Lapis Pondasi Atas Agregat Kelas A untuk Provinsi Kalimantan Selatan.

2. Pengembangan staf dosen dalam bidang penelitian terapan untuk pemanfaatan material lokal untuk pembangunan daerah.

4. METODE PENELITIAN

Umum

Program kerja dan kegiatan pengujian dilaboratorium adalah dimulai dari pengambilan bahan Lapis Pondasi Agregat Kelas A di *stock pile*, terdiri dari material agregat kasar, agregat medium dan abu batu berupa batu pecah dari mesin pemecah batu (*stone crusher*). Pengujian bahan agregat, analisis data, kesimpulan seperti pada gambar diagram alir (*flow chart*) Gambar 4.1. Pelaksanaan pengujian menggunakan standar rujukan Standar Nasional Indonesia (SNI) sebagai rujukan sesuai ketentuan dalam spesifikasi umum jalan dan jembatan dari Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga (2010). Pengujian material Lapis Pondasi Agregat Kelas A seperti tabel (4).

Tabel 4. Pengujian Material Lapis Pondasi Agregat Kelas A.

Pengujian	Standar
1. Abrasi dari Agregat Kasar	SNI 2417:2008
2. Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	SNI 1969:2008
3. Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	SNI 1970:2008
4. Analisa Saringan	SNI-03-1968-1990
5. Indek Plastisitas	SNI 1966:2008
6. Batas Cair	SNI 1967:2008
7. Modified Proctor	SNI 1743:2008
8. California Bearing Ratio (CBR)	SNI 1744:2012

Tahapan-tahapan Penelitian

Tahapan-tahapan dalam proses penelitian penentuan nilai CBR Lapis Pondasi Agregat Kelas A pada proporsi Gradasi Tepat Batas Bawah terhadap Tepat Batas Tengah adalah sebagai berikut:

1. Persiapan Bahan Material
Bahan material didapat dari mesin pemecah batu (*Stone Crusher*) Quarry Pelaihari dengan material Abu batu, Batu pecah 1:1, Batu pecah 1:2 dan Batu pecah 2:3.
2. Pengujian Keausan (Abrasi)
Pengujian keausan agregat dengan mesin abrasi los angeles sesuai dengan batasan yang harus memenuhi persyaratan nilai abrasi maksimal 40%, bila mana material tersebut tidak memenuhi syarat maka harus ganti material.
3. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar, medium dan halus.

4. Pemilihan Fraksi Gradasi
Komposisi gradasi yang di gunakan adalah Lapis Pondasi Agregat Kelas A, komposisi gradasi Tepat Batas Tengah dan Bawah sebagai batasan masalah untuk melakukan penelitian ini.
5. Pemadatan (Modified Proctor)
Pemadatan ini dilakukan agar mendapatkan nilai berat volume kering atau kepadatan kering maksimum (γ_d maks) dan kadar air optimum (ω opt), metode pemadatan menggunakan pemadatan Berat metode D sesuai dengan SNI 174:2008.
6. CBR Laboratorium
CBR Laboratorium untuk mengetahui perbandingan antara beban penetrasi suatu bahan terhadap bahan standard

batu pecah dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama dinyatakan dalam persen.

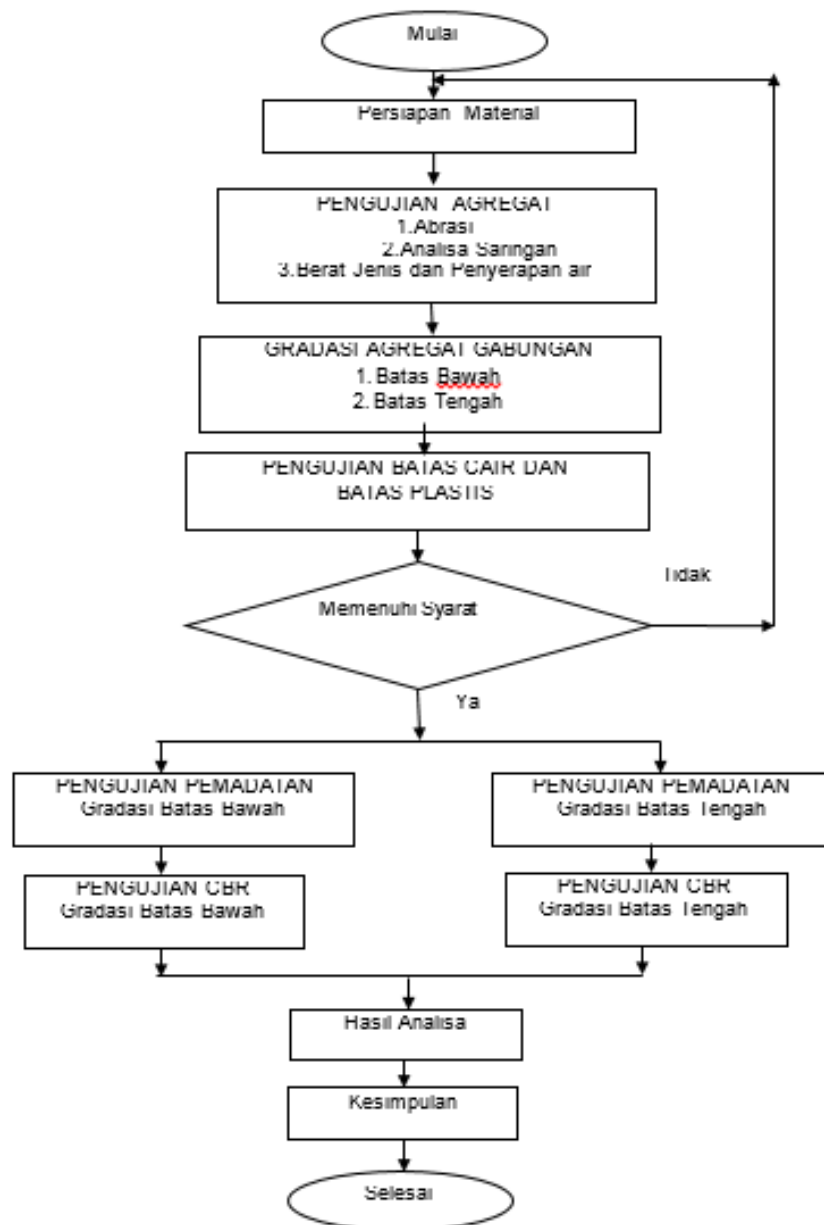
7. Kesimpulan

1. Mengetahui nilai berat volume kering maksimum dan kadar air optimum Gradasi Batas Bawah dan Batas Tengah Lapis Pondasi Agregat Kelas A.
2. Mengetahui nilai CBR dari Gradasi Batas Bawah dan Batas Tengah Lapis Pondasi Agregat Kelas A.

3. Mengetahui nilai CBR terbesar antara Gradasi Batas Bawah dan Batas Tengah Lapis Pondasi Agregat Kelas A.

Bagan Alir Penelitian

Tahapan-tahapan proses penelitian seperti gambar bagan alir penelitian pada Gb (3)



Gambar 4. Bagan Alir Penelitian

5. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pelaksanaan penelitian di laboratorium Politeknik Negeri Banjarmasin Jurusan Teknik Sipil terhadap sampel uji Lapis Pondasi Agregat Kelas A gradasi tepat Batas Bawah terhadap tepat Batas Tengah. Material batu pecah hasil mesin pemecah batu (*stone crusher*). Sumber material berasal dari gunung batu Pelaihari, Kabupaten Tanah Laut. Hasil penelitian seperti diuraikan dibawah ini.

Gradasi Tepat Batas Bawah dan Tepat Batas Tengah

Gradasi agregat Lapis Pondasi Agregat Kelas Atepat pada Batas Bawah dan tepat Batas Tengah dengan komposisi dan perhitungan bahan seperti tabel (5) Proporsi gradasi Tepat Batas Bawah dan Tabel 4.2 proporsi gradasi Tepat Batas Tengah di bawah ini, serta kurva gradasi pada Gb (5). Berat bahan untuk satu kali percobaan adalah 5500 gram

Tabel 5. Proporsi Gradasi Tepat Batas Bawah

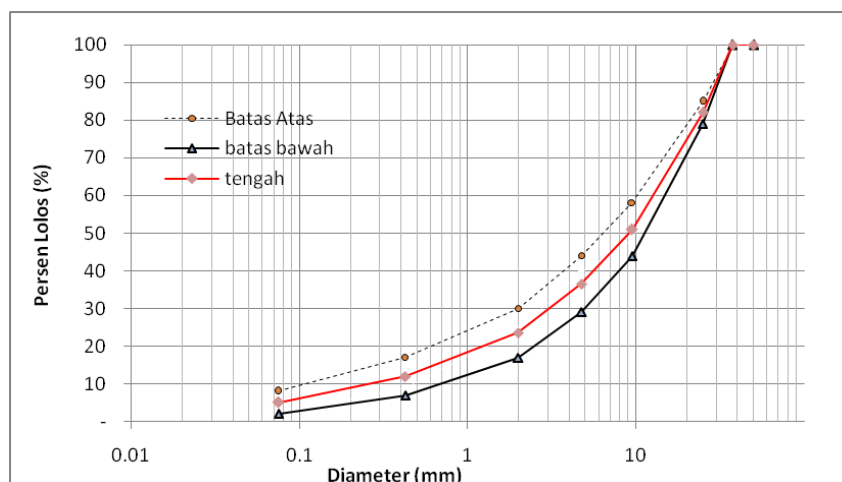
Ukuran saringan	% Batas Bawah			
	% lolos kumulatif	% tertahan kumulatif		Tertahan (gr) individu
2"	100	0	0	0
1,5"	100	0	0	0
1"	79	21	21	1155*
3/8"	44	56	35	1925
No.4	29	71	15	825
No.10	17	83	12	660
No.40	7	93	10	550
No.200	2	98	5	275
PAN	0	100	2	110
Total				5500

Catatan:

* Ukuran butir maksimum percobaan dilaboratorium $\frac{3}{4}$ " (19 mm)

Tabel 6. Proporsi Gradasi Tepat Batas Tengah

Ukuran saringan	Batas Tengah			
	% lolos kumulatif	% tertahan kumulatif		Tertahan (gr) individu
2"	100	0	0	0
1 1/2"	100	0	0	0
1"	82	18	18	990*
3/8"	51	49	31	1705
No.4	36,5	63,5	14,5	798
No.10	23,5	76,5	13	715
No.40	12	88	11,5	633
No.200	5	95	7	385
PAN	0	100	5	275
Total				5500



Gambar 5. Kurva Gradasi Agregat Gabungan LPA

Dari tabel 5. gradasi agregat gabungan batas bawah menunjukkan bahwa komposisi butiran lebih kasar dibanding dengan Tabel (6) gradasi agregat batas tengah, sehingga pada Gr (5) kurva gradasi butir batas bawah berada di bawah kurva batas tengah. Menurut SNI 1743:2008 percobaan pemadatan di laboratorium ukurn butir maksimum $\frac{3}{4}$ " (19 mm), sedang di dalam spesifikasi ukuran butir maksimum 1" (25,4mm) sehingga dalam

percobaan dipakai ukuran butir maksimum $\frac{3}{4}$ " (19 mm).

Hasil Pengujian Material LPA

Hasil pengujian material sifat-sifat fisik lapis pondasi atas agregat kelas A terdiri dari pengujian kekerasan agregat kasar (abrasi), berat jenis dan penyerapan air, batas cair dan indeks plastisitas (IP) seperti pada tabel (7).

Tabel 7. Sifat- sifat Lapis Pondasi Atas Agregat Klas A

Pengujian	Standar	Hasil Pengujian	Spesifikasi	Keterangan
1. Abrasi dari Agregat Kasar	SNI 2417:2008	31 %	0-40 %	Memenuhi syarat
2. Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	SNI 1969:2008	2,726	>2,500 g/cm ³	
3. Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	SNI 1970:2008	2,600	>2,500 g/cm ³	
4. Indek Plastisitas	SNI 1966:2008	Non plastis	0-5%	
5. Batas Cair	SNI 1967:2008	0	0-25%	

Dari tabel (7) kekerasan agregat diuji dengan alat abrasi Los Angeles memenuhi syarat. Nilai berat jenis lebih besar dari 2,500 g/cm³ memenuhi syarat. Pengujian plastisitas didapat hasil non plastis butir halus lolos ayakan No. 40 (0,425 mm) murni dari abu batu tidak mengandung lempung, sehingga bersifat nonplastis, sehingga pengujian batas cair dianggap nol.

Percobaan Kepadatan (*Modified Proctor*)

Percobaan pemadatan di laboratorium sesuai SNI 1743:2008 adalah kepadatan berat (*modified proctor*) metode D, yaitu material yang dipadatkan adalah tanah beragregat dengan ukuran butir maksimum $\frac{3}{4}$ " (19 mm). Percobaan kepadatan untuk mendapatkan hubungan kadar air dengan kepadatan kering atau berat volume kering, sehingga didapat

kepadatan kering maksimum dan kadar air optimum. Pada penelitian ini gradasi agregat gabungan dipilih Gradasi Tepat Batas Bawah dan Batas Tengah untuk Lapis Pondasi Agregat Kelas A.

Percobaan Kepadatan pada Gradasi Batas Bawah

Percobaan kepadatan di laboratorium dengan menggunakan metode kepadatan berat metode D. Metode ini dilakukan tiga kali pengujian sampel untuk tiap-tiap gradasi dengan 5 (lima) variasi kadar air pada spesifikasi yang sama dengan kode sampel Batas Bawah 01 (BB 01), Batas Bawah 02 (BB 02), Batas Bawah 03 (BB 03). Hasil percobaan kepadatan seperti tabel (8) dan Gambar 5.2.

Tabel 8. Hasil Percobaan Kepadatan Gradasi Batas Bawah

Kode Percobaan	HASIL PERCOBAAN KEPADATAN GRADASI BATAS BAWAH					
BB1	ω (%)	3,53	4,54	5,97	6,99	8,12
	γ_d (g/cm ³)	2,014	2,077	2,137	2,141	2,098
BB2	ω (%)	4,14	5,29	6,86	9,01	9,59
	γ_d (g/cm ³)	2,092	2,144	2,136	2,058	2,043
BB3	ω (%)	3,75	5,49	6,88	8,53	9,39
	γ_d (g/cm ³)	2,053	2,109	2,135	2,085	2,057

Dari tabel (8) dan Gb (6) pada percobaan kepadatan dengan gradasi batas bawah (BB) didapat kepadatan kering maksimum sebesar (γ_d) 2,145 g/cm³ dan kadar air optimum sebesar (ω_{opt}) 6,5 %.

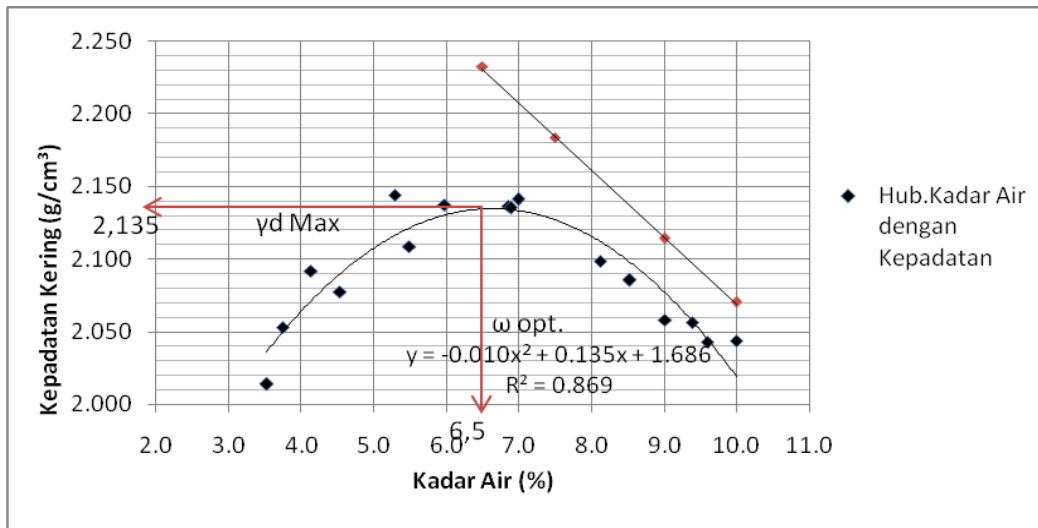
Menentukan berat jenis gabungan untuk garis kejenuhan (Zero Air void Line) seperti tabel (9).

Tabel 9. Berat Jenis Gabungan

Mentukan berat jenis gabungan				
Uraian	Abu Batu (Lolos # No.4)	Bt.Pecah (0,5 -1) Ag.Medium	Bt.Pecah (1-2) Ag.Kasar	Bt.Pecah (2-3) Ag.Kasar
Proporsi (%)	29	15	56	
Berat jenis	2,600	2,566	2,726	
Bjxproporsi	0,754	0,385	1,527	
Berat Jenis gabungan :		2,665		
Menentukan Z.A.V				
Kadar Air	6,5	7,5	9,0	10,0
γd Z.A.V	2,272	2,221	2,150	2,105

Jika data percobaan kepadatan BB1, BB2, BB3 di satukan dengan urutan mulai dari kadar air terendah maka grafik akan seperti Gb 6. Dari hasil percobaan kepadatan gradasi batas bawah pada Gambar 5.3 didapat nilai

kepadatan kering maksimum sebesar (γd) 2,135 g/cm³ dan kadar air optimum sebesar (w_{opt}) 6,5 %.



Gambar 6. Grafik Kepadatan Kering dengan Kadar Air Data Gabungan (Gradasi Batas Bawah)

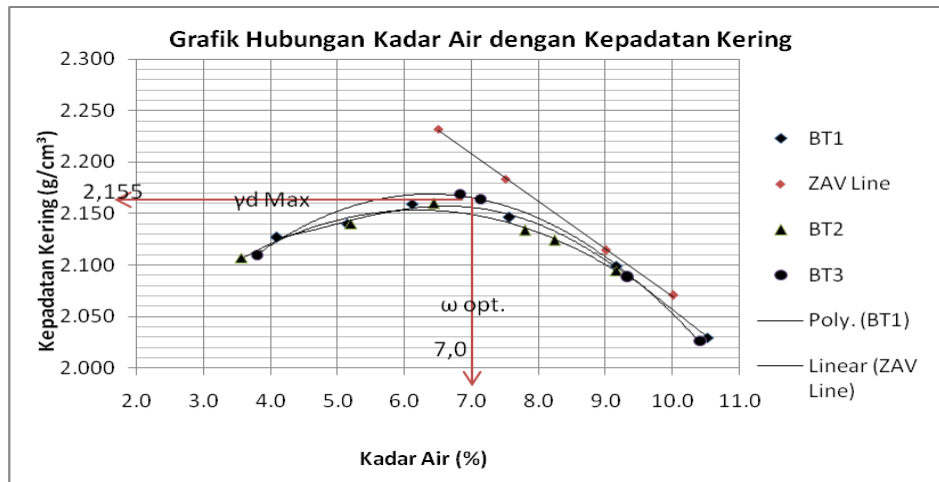
Percobaan Kepadatan pada Gradasi Batas Tengah

Percobaan kepadatan di laboratorium dengan menggunakan metode kepadatan berat metode D. Metode ini dilakukan tiga kali pengujian sampel untuk tiap-tiap gradasi dengan 5 (lima) variasi kadar air pada

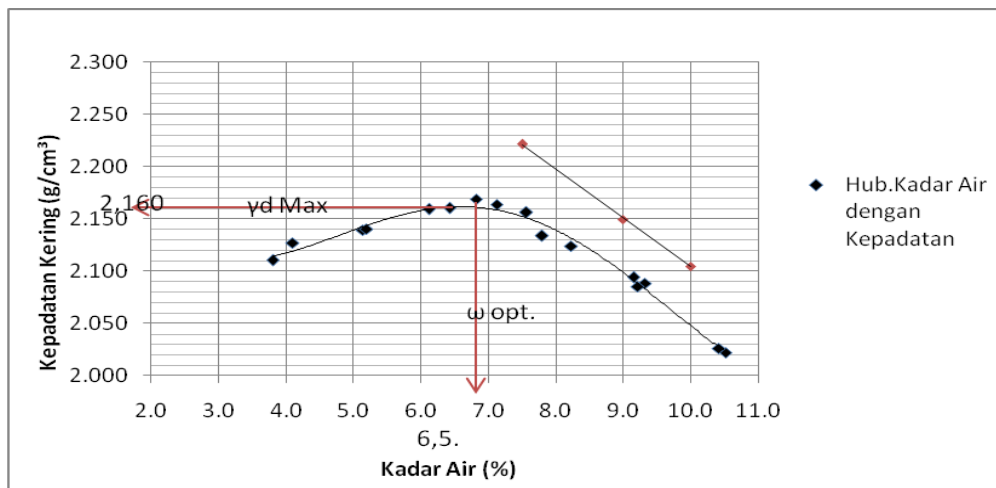
spesifikasi yang sama dengan kode sampel Batas Tengah 01 (BT 01), Batas Tengah 02 (BT02), dan Batas Tengah 03 (BT03). Hasil percobaan kepadatan seperti Tabel 10, dan Gb (7)

Tabel 10 Tabel Pemadatan Batas Tengah (BT)

Kode Percobaan	HASIL PERCOBAAN KEPADATAN GRADASI BATAS TENGAH						
BT1	ω (%)	4,10	5,14	6,12	7,57	9,16	10,522
	γd (g/cm³)	2,127	2,139	2,159	2,146	2,099	2,030
BT2	ω (%)	3,57	5,20	6,43	7,80	8,23	9,159
	γd (g/cm³)	2,107	2,140	2,160	2,134	2,124	2,094
BT3	ω (%)	3,80	6,82	7,13	9,33	10,42	
	γd (g/cm³)	2,110	2,169	2,164	2,088	2,026	



Gambar 10. Grafik Hubungan Kadar Air dengan Kepadatan Kering (Gradasi Batas Tengah)



Gambar 11. Grafik Hubungan Kadar Air dengan Kepadatan Kering Data Gabungan (Gradasi Batas Tengah)

Dari tabel (10) dan Gb (10) pada percobaan kepadatan dengan gradasi batas tengah (BT) didapat kepadatan kering maksimum sebesar (γ_d) 2,155 g/cm³ dan kadar air optimum sebesar (ω_{opt}) 7,0 %.

Jika data percobaan kepadatan BT1, BT2, BT3 di satukan dengan urutan mulai dari kadar air terendah maka grafik akan seperti Gb (11).

Dari tabel 10 dan Gb (9) pada percobaan kepadatan dengan gradasi batas tengah (BT) didapat kepadatan kering maksimum sebesar (γ_d) 2,155 g/cm³ dan kadar air optimum sebesar (ω_{opt}) 7,0 %.

Jika data percobaan kepadatan BT1, BT2, BT3 di satukan dengan urutan mulai dari kadar air terendah maka grafik akan seperti Gb 11.

Nilai CBR Laboratorium

Nilai CBR (California Bearing Ratio) Lapis Pondasi Agregat Kelas A pada kepadatan kering maksimum kondisi terendam selama 4x24 jam pada suhu ruang, pengujian CBR Laboratorium sesuai SNI 03-1744-1989.

Nilai CBR Laboratorium Gradasi Tepat Batas Bawah

Hubungan kepadatan kering maksimum 100 % dengan CBR disebut CBR Design seperti tabel (11) dan Gb (11) adalah hasil percobaan lapis pondasi atas gradasi batas bawah. Pembuatan benda uji CBR laboratorium dengan pada kadar air optimum dari percobaan kepadatan. Tingkat kepadatan bervariasi dengan cara mengatur jumlah tumbukan per lapis yaitu benda No.1, 2, 3

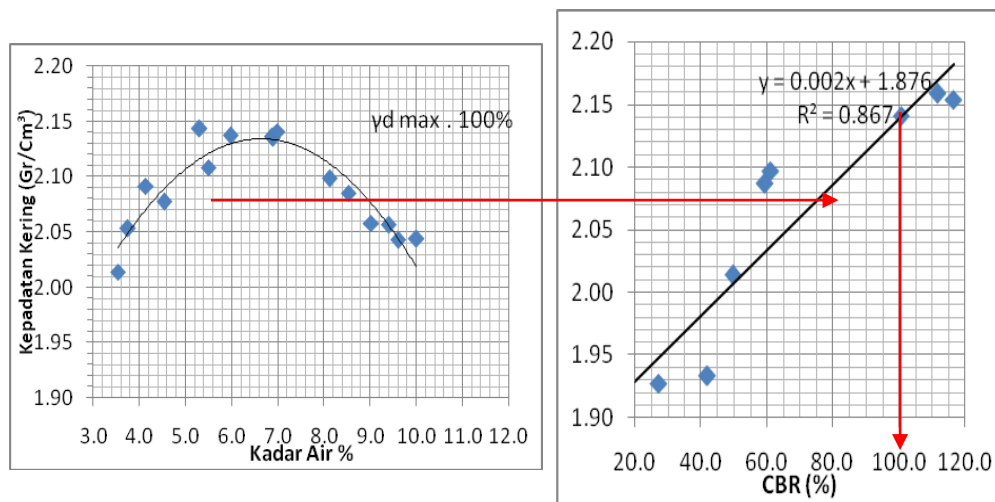
secara berutan 10, 30, 65 x tumbukan per lapis.

Dari gambar 5.6 didapat nilai CBR Desain Laboratorium 100 % pada derajat kepadatan 100 % untuk lapis pondasi agregat klas A gradasi batas bawah koefisien Korelasi 0,87 sehingga hubungan sangat kuat. berutan 10, 30, 65 x tumbukan per lapis.

Dari Gb (12) didapat nilai CBR Desain Laboratorium 100 % pada derajat kepadatan 100 % untuk lapis pondasi agregat klas A gradasi batas bawah koefisien Korelasi 0,87 sehingga hubungan sangat kuat

Tabel 11. Hasil Percobaan CBR Laboratorium Gradasi Batas Bawah

Nilai CBR (%)	18,90	27,20	41,92	49,61	59,39	61,10	111,8	100,6	116,7
Kepadatan Kering (g/cm ³)	1,915	1,927	1,933	2,014	2,087	2,097	2,159	2,141	2,154



Gambar 12. CBR Desain Laboratorium Gradasi Batas Bawah (BB)

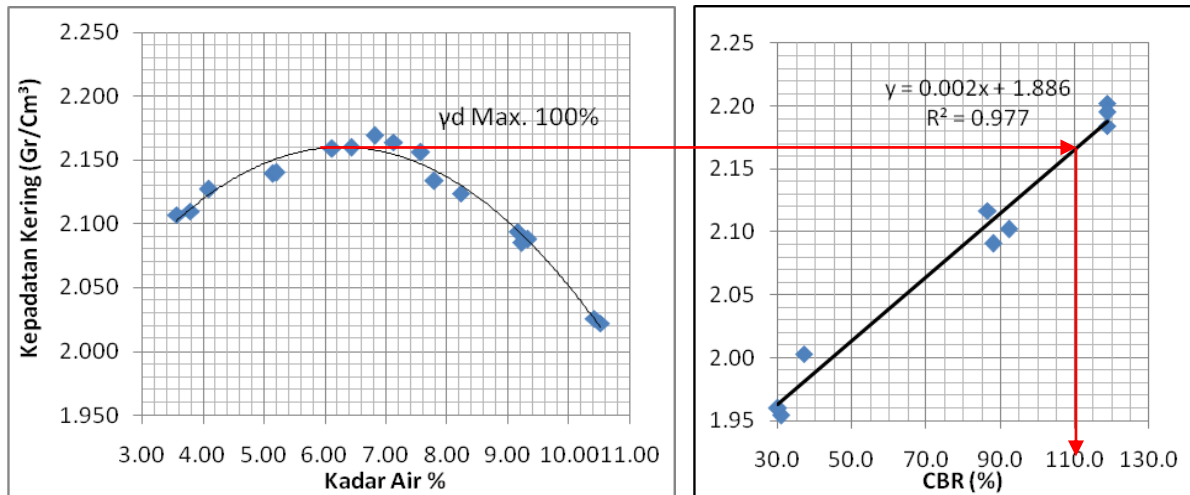
Nilai CBR Laboratorium Gradasi Tepat Batas Tengah

Hubungan kepadatan kering maksimum 100 % dengan CBR disebut CBR Design seperti Tabel 5.8 dan Gambar 5.7, adalah hasil percobaan lapis pondasi atas gradasi batas tengah. Pembuatan benda uji CBR laboratorium dengan pada kadar air optimum dari percobaan kepadatan. Tingkat kepadatan bervariasi dengan cara mengatur jumlah tumbukan per lapis yaitu benda No.1, 2, 3 secara berutan 10, 30, 65 x tumbukan per lapis.

Dari Gb (13) didapat nilai CBR Desain Laboratorium 110 % pada derajat kepadatan 100 % untuk lapis pondasi agregat klas A gradasi batas tengah koefisien Korelasi 0,97 sehingga hubungan sangat kuat, sehingga apabila nilai kepadatan meningkat maka nilai CBR akan bertambah tinggi. Lapis pondasi agregat klas A dengan gradasi batas tengah terdiri dari susunan ukuran butir yang seimbang ukuran butir kasar, medium dan halus sehingga pada energi pemadat yang sama didapat kepadatan lebih tinggi dan nilai CBR lebih besar dibanding dengan gradasi batas bawah.

Tabel 12. Hasil Percobaan CBR Laboratorium Gradasi Batas Tengah

Nilai CBR (%)	30,74	30,04	37,03	88,03	92,22	118,7	118,7	118,7	111,1
Kepadatan Kering (g/cm ³)	1,954	1,960	2,003	2,091	2,102	2,184	2,195	2,202	2,201



Gambar 13. CBR Desain Laboratorium Gradasi Batas Tengah (BT)

Perbandingan Nilai CBR

Perbandingan nilai CBR lapis pondasi agregat kelas A gradasi batas bawah dengan gradasi batas tengah seperti tabel (13) dan dapat digambarkan dalam bentuk diagram batang seperti Gb (14).

Berdasarkan tabel (13) dan Gb (14) diperoleh nilai CBR desain untuk gradasi Batas Bawah sebesar 100 %, kepadatan kering maksimum sebesar 2,135 g/cm³ dan kadar air optimum 6,5 %. Nilai CBR desain gradasi Batas Tengah 110 %, kepadatan kering maksimum 2,160 g/cm³ kadar air optimum 7,0%.

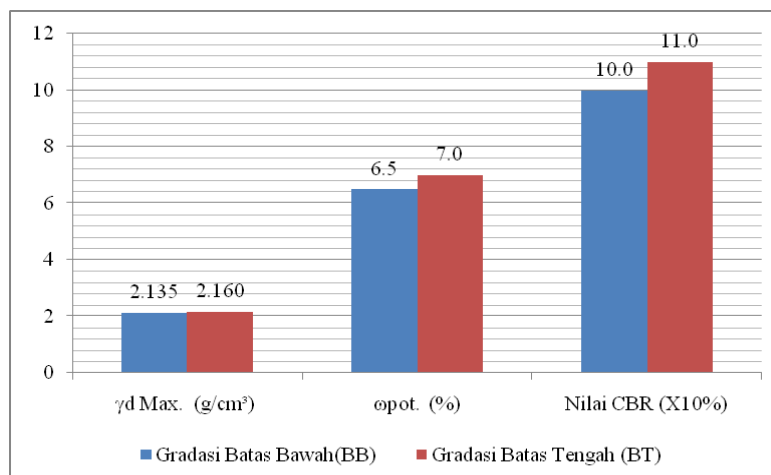
Dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa gradasi Batas Tengah memiliki

parameter mekanis lebih tinggi daripada gradasi Batas Bawah. Hal ini disebabkan distribusi ukuran butiran gradasi Batas Tengah mampu mengisi rongga / pori sehingga kepadatan meningkat daripada kepadatan gradasi Batas Bawah.

Peningkatan kepadatan tersebut ditandai dengan peningkatan berat pada volume yang tetap. Hal ini ditunjukkan dari nilai gradasi Batas Tengah yaitu parameter cbr desain, kepadatan kering maksimum, dan kadar air optimum lebih besar daripada parameter gradasi Batas Bawah.

Tabel 13 Perbandingan nilai CBR gradasi batas bawah dengan gradasi batas atas

Uraian	Kepadatan Kering, γd Max. (g/cm ³)	Kadar Air Optimum, ω _{pot.} (%)	Nilai CBR (x10%)
Gradasi Batas Bawah(BB)	2,135	6,5	10,0
Gradasi Batas Tengah (BT)	2,16	7,0	11,0



Gambar 14. Perbandingan nilai CBR gradasi batas bawah dengan gradasi batas atas

6. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Lapis Pondasi Agregat Kelas A dengan Gradasi Batas Bawah nilai kadar air optimum (ω_{opt}) 6,5 % dan nilai berat volume kering maksimum atau kepadatan kering maksimum (γ_{dmaks}) 2,135 gr/cm³.
2. Lapis Pondasi Agregat Kelas A dengan Gradasi Batas Tengah nilai kadar air optimum (ω_{opt}) 7,0% dan nilai berat volume kering maksimum atau kepadatan kering maksimum (γ_{dmaks}) 2,160 gr/cm³.
3. Gradasi Batas Bawah nilai CBR desain 100 %, Gradasi Batas Tengah nilai CBR desain 110 %.
4. Lapis Pondasi Agregat Kelas A dengan gradasi Batas Tengah didapat nilai CBR lebih besar dibandingkan gradasi Batas Bawah.

Saran

Dari hasil dan analisa diberikan saran sebagai berikut:

1. Penelitian sebaiknya juga dilakukan terhadap sampel agregat dari quarry-quarry lain sehingga didapat hasil kesimpulan dari berbagai jenis agregat.
2. Gradasi Batas Tengah Lapis Pondasi Agregat Kelas A merupakan gradasi yang tepat untuk digunakan pada *Stone Crusher*

7. DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Das, Braja. 1988. *MEKANIKA TANAH Jilid 1*. Noor Endah & Indra surya B. Mochtar. Surabaya.
- [2] Noor, Daniansyah. 2008. *Perkuatan Tanah Dengan Menggunakan Soil Semen*. Tugas Akhir. Program Studi Teknik Sipil. Banjarmasin.
- [3] Direktorat Jenderal Bina Marga. 2010. *Spesifikasi Umum Divisi 5*. Jakarta.
- [4] Badurul Sih Alam, Muhammad. 2011. *Penentuan Kepadatan Kering Maksimum dan Kadar Air Optimum dari Metode A, Metode B, Metode C, Metode D pada Pemadatan Ringan*. Tugas Akhir. Program Studi Bangunan Rawa Teknik Sipil. Banjarmasin.

[5] Hardiyatmo, Hary Christady. 2010. *Mekanika Tanah 1 Edisi kelima*. Yogyakarta.

[6] Hardiyatmo, Hary Christady. 2011. *Perancangan Perkerasan Jalan dan Penyelidikan Tanah*. Yogyakarta.